

orden, y así sucesivamente. Un valor habitual en cuanto a precisiones es que en las redes de primer orden, las correspondientes tanto a las alturas elipsódicas u ortométricas deben ser menores que un metro y las coordenadas horizontales tienen precisiones relativas entre estaciones adyacentes de 1 parte por millón.

Con la aparición de la Geodesia Espacial, la definición de un Sistema Geodésico cambia radicalmente. Un Datum Espacial está formado por las coordenadas absolutas de algunas estaciones, que conforman un conjunto de vértices denominado poliedro geodésico; un elipsoide de referencia y un modelo geopotencial formado por los valores numéricos de los coeficientes del desarrollo en armónicos esféricos de la ecuación de Laplace; y varias constantes como pueden ser los valores de las velocidades de la luz y de la rotación terrestre, constante de gravitación terrestre y masa terrestre. El origen de este datum puede coincidir con el centro de masas de la Tierra, denominándose datum absoluto, o no; en cuyo caso vendrá dado el desplazamiento del centro del elipsoide con relación al centro de masas terrestre. Asimismo, las efemérides precisas de los satélites que pertenecen a dicho sistema espacial están también referidas a este datum espacial. En este datum las coordenadas horizontales son las mismas que en el caso clásico, pero la altura, ahora, está referida al elipsoide, altura elipsódica, en lugar de la altura ortométrica. También suelen sustituirse por las coordenadas cartesianas geocéntricas.

Esta definición de Sistema Geodésico expresa una concepción global del datum que tiene la ventaja de ser único para cualquier zona de la Tierra. Ciertamente, será necesario relacionar este sistema de referencia a los datum locales anteriormente establecidos mediante el conocimiento experimental o modelado de las ondulaciones del geoide y las desviaciones de la vertical en las estaciones principales de cada red geodésica.

Las redes geodésicas referidas a un datum espacial se clasifican de forma similar que en Geodesia Clásica. Al nivel A pertenecen sistemas de referencia a escala continental formados por estaciones dotadas de precisiones centimétricas y cuyos puntos de control o fiduciales están situados en estaciones de la Red Internacional del Servicio de Rotación Terrestre o de la Red Internacional del Servicio de Geodinámica Terrestre definidas por la técnica VLBI. El nivel B está formado por las redes geodésicas nacionales de primer orden y al nivel C pertenece cualquier otra de rango inferior.

En el caso que nos ocupa, podemos destacar que el Sistema de Posicionamiento Global lleva asociado el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS-84). Este sistema de referencia se define utilizando datos procedentes del seguimiento de satélites TRANSIT y Láser, medidas gravimétricas realizadas sobre la superficie de la Tierra y ondulaciones del geoide obtenidas mediante satélites altimétricos para regiones oceánicas situadas en latitudes entre 70° N y 70° S, aproximadamente. Este conjunto de datos aseguran un marco de referencia más preciso que los existentes anteriormente, WGS-66 y WGS-72.

[Manuel Berrocso Domínguez]

»Universidad de Cádiz

la cartografía temática: la Interpretación frente a la métrica

La temática de esta ponencia nos acerca a un tipo de cartografía diferente de la analizada y comentada en las sesiones anteriores, se trata de la cartografía temática. Es difícil encontrar una definición generalista para este tipo de cartografía, ya que cualquier elemento territorial, proceso o actividad puede ser susceptible de representación cartográfica de forma específica. Casi la mejor forma de adentrarnos en este tipo de cartografía es por una vía de negación, es decir, la cartografía temática es toda aquella que no es cartografía general/topográfica.

A diferencia de aquella, centrada en la representación precisa de los elementos territoriales más estables y permanentes del territorio, con el énfasis puesto en la adecuada definición geométrica de cualquier ámbito territorial (con una atención muy especial al relieve) y con unos requerimientos de precisión métrica muy exigentes; la cartografía temática es una cartografía especializada, destinada específicamente a la representación de cualquier elemento, proceso o actividad, con el énfasis puesto en la correcta identificación, caracterización,

evaluación y representación del mismo (suelos, geología, clima, usos del suelo, riesgos de erosión, etc...). En este proceso se parte de un territorio definido métricamente por los mapas generales/topográficos y se incorpora a ellos la información especializada del tema elegido, una información en cuya obtención participan mayoritariamente otro tipo técnicas (toma de muestras y su correspondiente analítica, visitas al campo, tratamiento estadístico, etc...).

Aunque estas técnicas nos permiten identificar y caracterizar el tema a analizar de forma puntual y discontinua (toma de muestras, transectos, perfiles de suelo...), para el proceso de representación cartográfica final en la mayor parte de los casos es necesario trabajar directamente con una representación visual del territorio, proporcionada por fuentes de información específicas: la fotografía aérea o las imágenes de satélite. Por ello, a diferencia de la cartografía general/topográfica donde la tecnología ha favorecido una mayor precisión de forma ininterrumpida (teodolitos, estaciones totales, GPS, fotogrametría digital, etc...) y una normalización de los procedimientos de ejecución a nivel internacional, el proceso de interpretación, en la mayor parte de los casos específico para cada tipo de cartografía temática, es más difícil de normalizar y automatizar, aunque los avances tecnológicos cada vez ofrecen herramientas más útiles en este proceso. De ahí el subtítulo de esta ponencia: la interpretación frente a la métrica.

Un primer carácter diferenciador de la cartografía temática es el ligado a los profesionales que la realizan. En este sentido la mayor parte de la cartografía general/topográfica es producida por un mismo y reducido tipo de profesionales (matemáticos, ingenieros geógrafos, topógrafos...), mientras la diversidad de materias susceptibles de ser objeto de una cartografía temática aumenta extraordinariamente el número de especialistas (geólogos, agrónomos, biólogos, arquitectos, climatólogos, sociólogos, etc...), las técnicas de análisis y los procedimientos de elaboración. Como resultado de ello, no existe una norma común de realización o de representación, a veces, ni siquiera dentro de una misma especialidad o de un mismo estado. Todo ello redundará en una dificultad añadida para su uso, ya que los mapas suelen presentar leyendas muy específicas y de difícil comprensión para el no especialista.

Por otra parte, solo una reducida parte de esta cartografía ha seguido un proceso de institucionalización (mapas geológicos, meteorológicos o de usos y aprovechamientos, casi exclusivamente), siendo en su mayor parte fruto de iniciativas surgidas en actividades particulares, centros de investigación, organismos públicos o universidades. De ello se deriva la dificultad a su acceso y el desconocimiento de su existencia por gran parte de sus potenciales usuarios, incluso a veces dentro de los mismos especialistas en una cartografía temática.

Frente a esta situación, no exclusiva de nuestro país sino bastante generalizada a nivel internacional, nos encontramos con una demanda creciente de este tipo de cartografía, acelerada espectacularmente en nuestro país durante los últimos años por diversas razones:

- La generalizada necesidad de información en nuestra sociedad, y cada vez en mayor medida de información geográfica, ya que la mayor parte de las actividades humanas se desarrollan en el espacio y este espacio es una variable esencial y estratégica en su desarrollo (actividad turística, navegación, comercio, etc).
- El mapa es el elemento de ordenación por excelencia, por lo que tanto la planificación territorial como la urbanística demandan un creciente volumen de información cartográfica para la toma de decisiones territoriales, así como para su gestión y seguimiento. En algunos casos, la propia normativa (Ley de Aguas, Ley de costas, Ley de EIA, por ejemplo) exige determinados tipos de cartografía temática (unidades fisiográficas, riesgos de inundación, unidades de paisaje, etc...)
- El creciente interés por la relación entre las actividades humanas y el medio ambiente, así como el consiguiente desarrollo de la planificación ambiental, está demandando un enorme volumen de cartografía temática para un mejor conocimiento del medio, para explotar racionalmente sus recursos o para mitigar los riesgos asociados a muchos procesos naturales.
- Las propias características del mapa como documento visual capaz de transmitir un importante volumen de información de forma instantánea, y casi el único con capacidad para transmitir las relaciones espaciales de

los diferentes elementos del territorio, erigen al mapa como un instrumento de enorme valor intrínseco para los medios de comunicación.

- La aportación de las nuevas tecnologías está facilitando la elaboración de la cartografía, abaratando sus costes de producción, introduciendo de forma generalizada recursos gráficos de gran poder y repercusión en el usuario final (color, animaciones, vistas 3D, etc...), así como atrayendo el interés de los medios de comunicación social y las emergentes actividades multimedia.

Como respuesta a esta creciente demanda de cartografía temática, en el momento actual se está intensificando su producción, si bien no toda ella presenta las mismas dificultades de elaboración, ni tiene el mismo interés aplicado, ni su proceso de producción está exento de riesgos. En un intento de aclarar esta idea se podría agrupar la cartografía temática en 3 grandes tipos, conectándola con el uso que se hace de ella:

1.- Se podría hablar de un primer tipo de cartografía, que está situada en la base de cualquier utilización potencial de la cartografía temática: la cartografía de **inventario**. Este tipo de cartografía es esencialmente descriptiva e intenta identificar y caracterizar cualquier elemento de la realidad territorial. Es por ello una cartografía temática de difícil elaboración y elevado coste, aunque es necesario subrayar que constituye la base sobre la que posteriormente podremos desarrollar otros tipos de cartografía temática.

2.- Cualquier toma de decisiones sobre el territorio (planificar, construir, desplazarse, transformarlo, etc...) exige, no solo el conocimiento del mismo, sino una **evaluación** de la adecuación de las características de éste a la actividad a desarrollar o de las limitaciones que impone a la misma (limitación administrativa, impactos sobre el medio, riesgos, etc...). Esta necesidad de evaluación ha desarrollado un tipo de cartografía más aplicada, destinada no ya a describir los elementos del territorio sino a valorarlos en función de una actividad y a establecer un diagnóstico sobre su viabilidad.

3.- Finalmente podríamos incluir un tercer tipo de cartografía temática, la de carácter **normativo**, que es la que se encuentra en la etapa final de un proceso de toma de decisiones sobre el territorio, es decir, la cartografía que, generalmente a partir del diagnóstico proporcionado por la cartografía de evaluación plasma las decisiones territoriales adoptadas y que puede tener bien un carácter normativo o prescriptivo (clasificación de suelo en planes urbanístico, delimitación de espacios naturales, trazado final de una infraestructura, delimitación del dominio público hidráulico...) o bien puramente informativo o preventivo (trazado de rutas turísticas, determinación de áreas de riesgo, etc).

La incidencia que la incorporación de nuevas tecnologías ha tenido en todas las fases del proceso cartográfico también ha incidido significativamente en la producción de cartografía temática, si bien ha afectado de forma particular en cada tipo de cartografía. Esta incorporación está exigiendo nuevas iniciativas y retos y, con toda seguridad, va a ampliar el mercado de usuarios potenciales de cartografía temática. Sin embargo, también va a exigir un reciclaje formativo de los productores y planteará nuevos riesgos que es necesario minimizar regulando de forma clara su producción y utilización.

En la **cartografía de inventario** las nuevas tecnologías van a tener una significativa influencia en la precisión geométrica de la cartografía temática, cuestión no incorporada de forma explícita en su producción tradicional y que el proceso de informatización y su manipulación dentro de sistemas de información geográfica requerirá de forma exigente. En este sentido, el trabajo de campo se beneficiará de la aportación de las técnicas de posicionamiento por satélite (GPS), simplificando los trabajos topográficos. La generación de ortofotos y ortoimágenes y su tratamiento digital estarán al alcance de especialistas temáticos, facilitando el proceso de interpretación y garantizando una mayor precisión geométrica en el producto cartográfico final. En el ámbito urbano la posibilidad de gestionar las direcciones postales informáticamente para su georreferenciación (proceso conocido como "geocoding") pondrá al alcance del usuario final un ingente volumen de nuevos datos originales y potenciará nuevos tipos de cartografía (geomarketing, por ejemplo) con un gran potencial de mercado futuro. A su vez, la medición de parámetros directamente y de forma continua a través de sensores remotos (temperatura, actividad clorofílica, rugosidad del terreno, oleaje, altimetría...), y la incorporación de emulsiones en color e infrarrojos color en fotografía aérea, así como su disponibilidad y periodicidad, impulsarán el proceso

de levantamiento de nueva información territorial y abaratarán su actualización. La generación de modelos digitales de elevaciones a partir de interpolación de curvas de nivel o extraídos directamente de los procesos de fotogrametría digital será considerado como una de las variables temáticas de mayor utilización multidisciplinar. Por último, el resultado final del levantamiento cartográfico no será exclusivamente su edición analógica (papel impreso), sino que se utilizará para enriquecer grandes bases de bases de datos informatizadas y georreferenciadas. Con ello, se superarán parte de las limitaciones del formato analógico (no toda la información levantada sobre cualquier temática puede incluirse en el mapa impreso), llegando al usuario de esta cartografía una información mas completa, ordenada, fácilmente manipulable y de rápido acceso.

La **cartografía de evaluación o diagnóstico**, mayormente elaborada a través del tratamiento integral de variables temáticas por superposición cartográfica, se beneficiará de forma significativa de las potencialidades analíticas de los sistemas de información geográfica. No obstante, es necesario incidir en que la calidad de esta cartografía reside en la calidad de las variables temáticas iniciales y por lo tanto de la cartografía de inventario, siendo un tema de gran sensibilidad para el resultado final la coherencia geométrica de las mismas. En el mismo sentido, uno de los documentos cartográficos de mayor potencialidad será la cartografía de procesos y evolutiva, introduciéndonos en un tipo de cartografía dinámica, hasta ahora muy limitada por las restricciones del formato analógico tradicional. Una herramienta que favorecen las nuevas tecnologías será la generación de modelos matemáticos de gran trascendencia en la cartografía de evaluación (modelización de procesos de inundación, erosión, difusión de contaminación o tráfico), si bien de nuevo es muy dependiente de la calidad de las variables de entrada de los mismos y sus condiciones de contorno, lo que nos dirige otra vez a la cartografía de inventario.

En relación con la **cartografía de carácter normativo, preventivo o de información** situada en la fase final de cualquier proceso de toma de decisiones, el impacto de las nuevas tecnologías tendrá un efecto doblemente positivo: facilitará su acceso y consulta (esencial en algunos procesos de planificación) de cara al usuario final e impulsará y simplificará las labores de gestión y seguimiento al facilitar su tratamiento conjunto en SIGs.

En fin, la cartografía en general y específicamente los mapas temáticos parecen estar viviendo un periodo de revolución, alentado por una creciente demanda y una ampliación de los potenciales usuarios. Por una parte, la planificación territorial, urbanística y medioambiental constituye un enorme mercado intensificado en los últimos años; por otra, el territorio se considera un nuevo recurso incorporado a nuevas y emergentes actividades económicas (turismo rural, geomarketing, medios de comunicación, actividades multimedia, ...) y la cartografía es el instrumento esencial para su análisis, representación y difusión. El conocimiento científico de las variables territoriales es igualmente una demanda creciente y las nuevas tecnologías parecen impulsar con fuerza esta revolución.

Sin embargo, este proceso además de nuevos retos plantea también algunos riesgos que conviene evaluar y corregir. Parece absolutamente necesario un proceso de normalización de la cartografía temática de inventario y, si es posible, un proceso de institucionalización que proporcione normas que favorezcan, al menos, su estandarización (de contenidos, semiológica y de formatos informáticos). Por otra parte, al tratarse de cartografía "básica" sobre la que se sustenta el resto de la producción de cartografía temática, se debería impulsar estratégicamente la realización de las series temáticas de mayor interés. Para toda la cartografía temática en su conjunto parece claro que se demanda un proceso de clarificación en la definición de la cartografía exigida por la planificación territorial y medioambiental (uno de los principales mercados actuales), ya que mucha de ella es exigida de forma imprecisa y sin un conocimiento de la situación de partida y de los datos "básicos" disponibles (paisaje, riesgos naturales, etc...).

El proceso de informatización, favoreciendo y facilitando la producción de cartografía, no debiera incidir negativamente en sus exigencias de calidad semiológica (el mapa sigue siendo un documento visual y puede transmitir visualmente una información diferente a los contenidos). Este hecho puede verse intensificado por la aparición de nuevos productores sin una "formación mínima" en los fundamentos geométricos y semiológicos de la cartografía como ciencia.

[José Ojeda Zújar]